Garran

1872

Garran de Balzan

ECOLE SUPERIEURE DE PHARMACIE.

LA FLAMME

THESE

PRESENTEE ET SOUTENUE A L'ECOLE SUPERIEURE DE PHARMACIE DE PARIS

le 9 *Juillet* 1872

POUR OBTENIR LE TITRE DE PHARMACIEN DE 1re CLASSE

PAR

LOUIS-AMEDÉE GARRAN DE BALZAN

Né à Poitiers (Vienne)

Licencié es-sciences physiques, professeur de chimie
de l'association philotechnique,
nterne des hopitaux de Paris, ex-éléve de l'Ecole pratique
des hautes études.





PARIS

IMPRIMERIE J. FLOREZ

24 RUE DES FOSSÉS-SAINT-JACQUES, 24

1872.

ECOLE SUPERIEURE DE PHARMACIE

ADMINISTRATEURS :

MM. Bussy, directeur.
Buignet, professeur.
A. Milne Edwards, professeur titulaire

PROFESSEUR HONORAIRE :

M. Caventou.

PROFESEURS :

MM. Bussy, chimie inorganique.
Berthelot, chimie organique.
Chevalier, pharmacie.
Baudrimont, id.
Chatin, botanique.

MM. Milne Edwabds, zoologie.
Bouis, toxiologie.
Buignet, physique.
Planchon, histoire naturelle de médicaments.

PROFESSEURS DELEGUES DE LA EACULTE DE MEDECINE :

M. Baillon. | M. Régnauld.

AGREGES :

MM. Riche.
Jungfleisch.
Leroux.

MM. Soubeiran.
Marchand.
Bourgoin.

A LA MEMOIRE DE MON PÈRE

L. F. GARRAN DE BALZAN

CONSEILLER A LA COUR DE POITIERS.

faible témoignage de mes regrets éternels.

A MA MÈRE

hommage d'affection et de dévouement.

A MON FRÈRE

affection fraternelle.

A MES AMIS.

A Monsieur BUIGNET

PROFESSEUR A L'ECOLE DE PHARMACIE

Chevalier de la Légion d'honner.

A Monsieur le Docteur BYASSON

PHARMACIEN CHEF DE L'HOPITAL DU MIDI.

A MES CHEFS DE SERVICE DANS LES HOPITAUX.

Mr LE DOCTEUR TRÉLAT

Agrégé à la Faculté de Médecine.

CHIRURGIEN DE L'HOPITAL DE LA PITIÉ

Chevalier de la Légion d'honneur.

Mr LE DOCTEUR LABBÉ

Agrégé à la Faculté de Médecine.

CHIRURGIEN DE L'HOPITAL DE LA PITIÉ

Officier de la Légion d'honneur.

Mr LE DOCTEUR DUMONT-PALLIER

MÉDECIN DES HOPITAUX

Chevalier de la Légion d'honneur.

Mr LE DOCTEUR POLALLION

Agrégé à la Faculté de Médecine

CHIRURGIEN DES HOPITAUX

Chevalier de la Légion d'honneur.

Mr LE DOCTEUR SÉE

CHIRURGIEN DE L'HOPITAL DU MIDI

Chef des travaux anatomiques,

Chevalier de la Légion d'honneur.

PREPARATIONS

I. OPIUM TITRE.

Opium de Smyrne.	250

II. TEINTURE D'EXTRAIT D'OPIUM.

Extrait d'opium.	20
Alcool à 60°.	240

III. SIROP D'OPIUM.

Extrait d'opium.	2
Sirop de sucre.	1000

IV. LAUDANUM DE SYDENHAM.

Opium de Smyrne.	100
Safran.	50
Cannelle de Ceylan	8
Girofles.	8
Vin de Malaga.	800

V. LAUDANUM DE ROUSSEAU.

Opium de Smyrne.	100
Miel blanc.	300
Acool à 60°.	100

I. MERCURE PURIFIÉ.

Mercure	2000
Acide nitrique.	20

II. BICHLORURE DE MERCURE.

Sulfate de bioxyde de mercure.	500
Chlorure de mercure.	
Chlorure de sodiun décrépité.	500
Bioxyde manganese.	50

III. PROTIODURE DE MERCURE.

Mercure pur.	50
Iode.	30
Alcool.	50

IV. OXYDE ROUGE DE MERCURE.

Mercure pur.	500
Acide nitrique.	375

V. ÉTHIOPS MINERAL.

Mercure.	20
Fleurs de soufre.	20

LA FLAMME



La flamme dit Davy est *une matière gazeuse chauffée au point d'être lumineuse.*

Nous préférons dire :

La flamme est une matière incandescente dont la chaleur et la lumière proviennent de la combinaison chimique des gaz qui la constituent.

On voit de suito que nous devons étudier les gaz qui constituent cette flamme avant et après son apparition, et aussi le phénomène calorifique et lumineux qui en résulte.

Nous sommes ainsi conduits à diviser notre travail en deux parties : PHYSIQUE et CHIMIE.

Mais s'il est un cas où l'on voit bien que toutes les sciences sont sœurs, et que la physique et la chimie en particulier sont étroitement liées l'une à l'autre ; c'est certainement en faisant l'étude de la flamme qui a fait partie tour à tour de l'une et de l'autre et qui n'a été réellement bien comprise et bien étudiée que dans ces dernières années, alors que les physiciens et les chimistes de tout les pays sont venus se donner la main et s'entr'aider sur ce champ commun de la méthode expérimentale.

PHYSIQUE.

Du Spectre.

Un rayon de lumière blanche est constitué par la réunion d'une infinité de radiations ayant chacune des propriétés qui leur sont propres ; tels que, par exemple, une couleur et une refrangibilité spéciale ; séparer ces rayons les uns des autres est chose facile à faire : Il nous suffira à l'exemple de Newton de faire tomber un rayon lumineux sur un prisme et d'observer la lumière qui en émerge.

Nous serons alors frappés par l'apparition d'un des plus beaux phénomènes de l'optique.

Toutes les couleurs de l'arc-en-ciel s'étalent et nous avons ce que l'on appelle un spectre. Cette découverte était considérée par Newton, comme « la plus étrange, sinon la plus importante qui eût été faite jusque-là sur les opérations de la nature. »

Nous venons d'analyser la lumière blanche du soleil, par exemple, et nous aurions pu remarquer que le spectre était uniformément étalé et que toutes les couleurs y jouissaient du même éclat.

Changeons maintenant notre source de lumière. Prenons un corps liquide ou solide et en l'échauffant, observons à l'aide d'un prisme convenablement choisi (1) les radiations qu'émet ce corps.

Au-dessous de 525°, suivant Draper, notre œil n'aperçoit rien, mais

(1) On choisit un prisme de sel gemme parcequ'il n'absorbe pas les rayons calorifiques comme le ferait un prisme en verre. En un mot le verre est opaque pour les radiations calorifiques, tandis que le sel gemme au contraire est transparent pour ces radiations.

l'appareil thermo-électrique de Melloni, nous permettrait facilement de mettre en évidence et d'analyser les radiations calorifiques qui émergeraient d'un prisme de sel gemme.

Au fur et à mesure que notre source de chaleur et de lumière arrive à une température plus élevée, on voit le spectre devenir de plus en plus lumineux et s'étendre en commençant par le rouge pour atteindre bientôt le violet.

Enfin, à une température suffisamment élevée, les rayons chimiques peuvent être mis en évidence.

Mais ce qu'il importe surtout de remarquer ici, c'est que qu'elle que soit cette température, les spectres observés sont toujours continus, si les substances rayonnantes sont solides ou liquides.

La lumière de Drumont, en est un excellent exemple.

Cas des Gaz.

Prenons maintenant un gaz incandescent comme source de lumière.

En analysant cette flamme par un prisme de Crown-Glass, nous demeurons frappés de la différence. Au lieu du spectre continu que nous avons observé tout à l'heure avec un corps solide ou liquide incandescent, c'est un spectre *discontinu*.

Ce spectre est peu lumineux extrêmement pâle ; sur le fond se détache, de distance en distance, un petit nombre de raies brillantes et étroites ; on dirait que l'on a interposé un écran dans le spectre lumineux continu du corps solide, et qu'au milieu de cet écran on a ménagé des ouvertures linéaires.

Ce qui n'est pas pas moins remarquable, c'est que ces bandes lumineuses sont toujours situées à la même place dans le spectre et que leur position dépend uniquement de la nature même du gaz qui a émis les radiations.

Aussi Herschel, dès 1822, déclarait-il qu'elles pourraient servir à caractériser et à analyser les matières en combustions.

Il nous reste à faire varier les conditions physiques de cette flamme, c'est-à-dire la pression et la température.

INFLUENCE DE LA PRESSION

ET DE

LA TEMPÉRATURE.

Variabilité du spectre de gaz.

Si nous raréfions un gaz incandescent, nous verrons les raies brillantes se détacher sur le spectre continu, plus vives, plus étroites et plus nettes.

Au contraire, en le comprimant nous verrons nos raies à mesure que la densité s'accroîtra, se transformer en bandes nébuleuses, s'estomper en s'élargissant et finir par se dissoudre dans le spectre continu, quand la condensation sera poussée assez loin pour que le gaz se rapproche de l'état liquide.

On voit que les propriétés spectrales des gaz et des liquides ou solides ne sont pas aussi dissemblables, qu'on l'avait cru d'abord ; ces faits confirment les expériences d'Andrews sur la continuité qui existe entre l'état liquide et l'état gazeux.

En faisant varier la température nous observerons quelque chose d'analogue.

A une augmentation de température, correspond des raies plus nettes, plus brillantes et plus nombreuses.

Ainsi les gaz suivent la loi générale ; de même que les solides lorsque leur température est peu élevée, les vibrations sont lentes, tandis que le nombre et l'intensité des radiations augmentent au fur et à mesure que la température s'accroît.

Mais alors il devient évident que l'ensemble de ces vibrations, le timbre en un mot varie, avec la pression et la température.

Est-ce à dire que nous pensions que la disposition des raies du spectre d'un gaz ne soit pas spécifique et ne puisse pas permettre de le reconnaître.

Loin de là. Nous croyons au contraire que chaque gaz a un timbre spécial ; mais nous pensons aussi qu'il peut être modifié par les conditions physiques dans lesquelles il se trouve placé.

Nous irons plus loin : Nous pensons non-seulement que le timbre d'un gaz est fonction de sa densité et de l'intensité de son ébranlement mais encore de son mode d'ébranlement :

Tout le monde sait que dans un concert l'échauffement de la salle ne tarde pas à élever le ton.

Pourquoi n'y aurait-il pas quelque chose d'analogue dans les vibrations des gaz.

Cette question de la variabilité du spectre de la flamme par la pression et la température ne peut être résolue que par la méthode expérimentale.

Elle est d'une importance capitale pour l'étude du pouvoir éclairant de la flamme ; mais elle domine peut-être plus encore l'analyse spectrale des astres.

En effet, nous ne connaissons ni la pression ni la température à laquelle sont soumis les gaz.

Si donc le spectre d'un gaz est susceptible de varier avec la pression et la température, cette analyse devient fort incertaine.

Aussi cette question a-t-elle vivement ému les astronomes, les physiciens et les chimistes.

Angström est l'auteur qui soutient le plus l'invariabilité du spectre élémentaire ; dans un mémoire sur le spectre solaire (1), il annonçait : « Un nouveau travail fait avec M. Thalen dont les résultats ne confirment aucunement l'opinion émise par Plücker, qu'un corps élémentaire pourrait donner suivant sa température plus ou moins élevée des spectres tout à fait différents. C'est le contraire qui est exact. En effet, en augmentant successivement la température, on trouve que les raies varient en intensité d'une manière très-compliquée et que par suite de nouvelles raies peuvent même se présenter si la température s'élève suffisamment; mais indépendemment de toutes ces mutations, le spectre d'un certain corps conservera toujours son caractère individuel. »

(1) Ann. Chim. et Phys. Tom. XVII, P. 518.

On voit que cependant il reconnaît « que si la température s'élève suffisamment de nouvelles raies peuvent se présenter. »

D'ailleurs, il reconnait aussi que, *quand la tension du gaz augmente les raies du spectre s'étendent et peuvent même se réunir.*

Plusieurs physiciens éminents, tels que Plücker (1), Hittorf (2), Lockyer (3), Franckland (4), Wulner (5), Cailletet (6), Berthelot et Richard (7), ont cherché à établir la variabilité du spectre.

Ainsi Plücker a reconnu d'abord que les gaz donnaient deux ordres de spectre : Le spectre cannelé ou de 1.er ordre pouvait être comparé au spectre ordinaire de l'azote, et le spectre rayé ou de 2.me ordre, que nous comparerons au spectre ordinaire de l'hydrogène.

Puis Wullner (8), est venu montrer que l'hydrogène pouvait offrir quatre spectres différents et qu'en résumé, la pression tend à rendre continu le spectre d'un gaz.

Toutefois, nous devons faire remarquer une cause d'erreur dans les expériences de Wullner à basse pression.

En effet, lorsque l'on pousse trop loin la raréfaction des gaz l'influence de leurs impuretés devient de plus en plus considérable.

Angstròm pense que les spectres multiples de Wullner n'ont pas d'autres causes.

Toujours est-il que Wullner (9), qui en étudiant le spectre de l'oxygène lui avait trouvé égalcment 3 spectres, reconnut lui-même plus tard que deux de ces spectres attribués par lui à l'oxygène étaient dus à des composés carbonés, provenant probablement des graisses des robinets. — Ces gaz s'étaient dégagés sous de faibles pressions.

Nous terminerons cette discussion, en reproduisant un travail de Cailletet (10), sur l'influence de la pression sur les raies du spectre.

Ces expériences ont été faites à l'aide d'une étincelle d'induction pro-

(1) Transaction philosophique, 1864.
(2) Ann. Chimie et Physique, t. LVII, p. 503.
(3) Comptes rendus, t. 69, p. 265, et t. 68 p. 420 et 1519.
(4) *Idem.*
(5) Ann. chim. et phys. T. XVI p. 495 et t. XVIII p. 473 et t. XXV p. 228 et suiv.
(6) Comptes rendus t. LXXIV, p. 1283.
(7) Comptes rendus, t. LXVIII, p. 1547.
(8) Annales de chimie et de physique, 4me série, t. XVI, p. 495 et t. XVIII, p. 483.
(9) Ann. Poggendorff, CXLIV, p. 481-520.
(10) Comptes rendus, t. LXXIV, p. 1283.

duite avec une bobine de Rumkorff et trois éléments de Bunsen; deux fils de platine étaient scellés à la partie supérieure d'un tube de verre où l'on pouvait déterminer exactement la pression du gaz.

L'étincelle de 2 à 3 millimètres de longueur présentait au spectroscope « Des raies assez nettes se détachant sur un fond à peine éclairé ; si alors on augmente lentement et graduellement la pression, on observe que les raies prennent bientôt un éclat de plus en plus grand, puis s'élargissant, s'estompent et finissent par se dissoudre dans le champ du spectre devenu brillant et vivement coloré ; à ce moment si l'on continue à augmenter la pression la lumière électrique cesse subitement. »

(Le dernier fait nous montre une analogie de plus pour le passage graduel de l'état liquide à l'état gazeux. — Les gaz offrent une résistance bien plus considérable au passage de l'électricité que les liquides.)

Les études de M. Cailletet, ont été faites sur l'hydrogène, l'azote, et l'air atmosphérique desséché.

La raie rouge de l'hydrogène prend un grand éclat à mesure que la pression augmente, et lorsque la tension du gaz est voisine de 40 atmosphères, la région rouge du spectre est devenue si lumineuse que la raie se détache à peine sur ce fond brillant : à ce moment la raie est complétement dissoute dans la partie la plus réfrangible du spectre, les raies des autres gaz que j'ai examiné produisent les mêmes effets, et les moins nettes d'entre elles ont disparus quand la pression est devenue telle que le courant lui-même cesse de passer...

Lorsque je trempe la pointe des fils de platine dans un sel de soude de Lithium, de Thallium ou d'un des métaux facile à reconnaître, les raies caractéristiques de ces métaux prennent un éclat qui va croissant avec la pression, et lorsque les raies gazeuses sont à peu près effacées, les raies métalliques, quoique très estompées, tranchaient encore sur le spectre devenu sensiblement continu.

J'ai mesuré dans quelle proportion l'intensité lumineuse de l'etincelle croît sous pression. A cet effet j'emploie deux bobines d'induction de même dimension. Je comprime alors le gaz contenu dans un des tubes lumineux, et je peux comparer par un des moyens photométriques connus, l'étincelle primitive avec l'étincelle accrue par la pression.

J'ai pu ainsi établir qu'en faisant varier de 1 à 40 atmosphères la ten-

sion du gaz où se produit l'étincelle celle-ci devient au moins 200 fois plus lumineuse. En effet l'étincelle qui à la pression de l'atmosphère est à peine visible, peut éclairer sous pression, un vaste laboratoire..

Je termine en concluant : « que l'intensité lumineuse des raies gazeuses va croissant avec la pression et que vers 40 atmosphères alors que la température doit être très-élevée dans le voisinage des fils, ces raies disparaissent presque complètement dans le champ du spectre devenu très lumineux et sensiblement continu. »

Influence du mode d'Ebranlement.

En analysant les qualités d'une flamme blanche, nous avons vu qu'élle était constituée par une infinité de radiations ayant chacune leurs caractères propres.

On les classe ordinairement en trois groupes.

1.° Les radiations les moins réfangibles ou les plus lentes, qui invisibles, possèdent cependant une grande quantité de forces vives, puis qu'elles sont très calorifiques.

2.° Les radiations lumineuses, que notre œil différencie les unes des autres par leurs couleurs.

3.° Enfin les radiations ultra-violettes, les plus réfrangibles, et les plus rapides, sont difficilement perçues par notre rétine; elles n'ont qu'un faible pouvoir calorifique, mais elles sont remarquables par leurs proprietés chimiques.

Toutes ces radiations ne sont que la résultante d'un ébranlement correspondant à une certaine somme de forces vives.

Cette force vive elle-même prend son origine soit dans une combinaison chimique, soit dans une transformation mécanique de force, soit encore dans une force de même nature, dans une vibration, synchrône ou non.

On voit dès lors, que tout ce qui pourra modifier cette transformation de force, modifiera le rhythme des vibrations.

Ainsi tout dépend de la nature des gaz et de la force qui l'ébranle.

Quand on échauffe un gaz, on ne peut nier que cette chaleur ne le fasse vibrer. Ce gaz émet donc les vibrations. Mais ces vibrations sont lentes;

elles sont tellement lentes, qu'elles sont invisibles, ou du moins, si tout tend à prouver que les gaz soient susceptibles de devenir lumineux sous l'influence d'une très haute température communiquée, le fait n'a pu être mis en évidence par l'expérimentation. (1)

On voit donc qu'un grande quantité de forces vives, n'a pas suffit pour obtenir une vibration assez rapide pour devenir lumineuse.

Au contraire, une décharge d'électricité à faible tension est susceptible de faire vibrer assez rapidement ce gaz pour l'illuminer. La force vive est beaucoup moindre, mais le mode d'ébranlement est différent. Et d'ailleurs la loi de Storckes elle-même, nous montre avec la plus grande évidence, l'influence du mode d'ébranlement.

Les molécules d'un gaz incandescent sont en vibration comme celles d'une corde sonore. De même que celles-ci ne peuvent produire que certains sons déterminés, de même celles-là ne peuvent émettre que des lumières de refrangibilité données, celles qui correspondent à leurs raies brillantes.

Or, on sait que si deux cordes sont d'accord et que si à une certaine distance on ébranle l'une d'elle, l'autre se met à vibrer synchroniquement, tandis qu'elle ne vibrerait pas sous l'influence d'une note qu'elle ne pourrait donner. Il en est de même des radiations lumineuses et calorifiques.

Elles mettront en vibration les gaz qu'elles traverseront, si ceux-ci sont suceptibles d'émettre ces mêmes vibrations. En sorte que ces gaz après avoir absorbé leurs forces vives, la disperseront ensuite dans touts les sens.

Si au contraire, par leur nature, ils sont incapables d'emettre ces mêmes vibrations, ils seront traversés par elle sans être mis en mouvement. En un mot, pour qu'il y ait absortion et émission il faut qu'il y ait accord.

On voit que cette loi même, tient au mode d'ébranlement. Une faible différence dans la rapidité des vibrations suffit pour qu'un gaz donné absorbe et émette toutes les ondulations qu'il reçoit, ou bien qu'il n'en absorbe et n'en émette aucune. Tous les phénomènes de fluorescence, de phosphorescence et de polarisation, ne sont-ils pas aussi sous la dépendance du mode d'Ebranlement ?

D'ailleurs en comparant le spectre de l'etincelle électrique d'un gaz, avec

(1) Salet, comptes rendus, t. LXXIV, p. 1249.

celui qu'il fournit par sa combinaison chimique on le trouve différent.

Les variations du spectre tiennent peut-être à la différence de température et de densité du gaz au moment ou il émet les radiations, température et densité qu'il est bien difficile de mesurer exactement dans les différentes décharges électriques, et qui d'ailleurs exigent de nouvelles recherches mais on peut admettre aussi qu'elles tiennent au mode d'ébranlement.

Terminons ces généralités en indiquant l'idée que nous nous faisons de l'Eclat vibratoire d'une flamme.

Tout atome gazeux soumis à l'influence d'une force quelconque qui en modifie l'équilibre se met à vibrer et à donner avec une pureté parfaite sa note ou ses notes fondamentales.

Si le gaz est très rarifié, on conçoit q'un atome est moins fréquemment en collision avec d'autres atomes et que par conséquent il doit donner une note plus simple; aussi ne devrons nous avoir qu'un petit nombre de raies brillantes dont la netteté sera en rapport avec la raréfaction du gaz.

A l'appui de cette manièro de comprendre ces phénomènes, nous pourrions invoquer les expériences et les remarques de Shonstone Stoney, (1). Joh. Emerson Regnoldo, (2). Soh. Emerson, (3). N. Peslin, (4).

Il en est de même des raies du cadmium et du magnésium.

Mr. Peslin conclu aussi que la longueur d'ondulation correspondant aux raies du spectre solaire présente souvent des rapports très simples.

Les savants ont cherché si la loi des harmoniques n'était pas vraie pour les vibrations lumineuses, comme elle l'est pour les vibrations sonores. Stoney a cherché à le démontrer pour les trois raies brillantes α, β, δ, du spectre de l'hydrogène. Leurs longueurs d'onde avaient été mesurées dans l'air par Angström.

Pour les réduire au vide, il suffit de les multiplier par l'indice de l'air.

On trouve alors que ces longueurs d'ondes sont exactement 1\|20, 1\|27, 1\|32 du nombre fondamental 121. 277. 14. En sorte que ces vibrations seraient les harmoniques de la radiation fondamentale ultra-rouge qui aurait par longueur d'onde. x=0, 3127714.

(1) Sohnstone Stoney, phil. magaz. t. XLII, p. 379.
(2) Joh. Emerson Regnolds, phil magaz. t. XVII, p. 41.
(3) Joh. Emerson, archives de Genève, t. XLII, p. 82-86.
(4) Peslin, comptes rendus, t. LVXXIV, p. 325.

Remarquons toutefois qu'il existe une quatrième raie du spectre de l'hydrogène, la raie γ qui correspond à cause de son éclat à la raie H du spectre solaire, et qui caractérise beaucoup mieux l'hydrogène que la raie δ.

Si on lui applique le même calcul, on trouve qu'elle ne fait pas partie de la série.

L'equidistance des raies du spectre d'absorption de l'acide chlorochromique nous conduirait à la même loi des harmoniques des couleurs.

L'effet produit par l'augmentation de température peut s'expliquer d'une façon analogue à celle de la pression.

La température s'accroissant les molécules gazeuses s'entrechoquent davantage et il doit en résulter des vibrations secondaires.

Les raies doivent devenir plus intenses puisque la force vive augmente, plus nombreuses par suite des vibrations secondaires.

L'effet de l'élévation de température devra donc avoir pour résultat de rendre le spectre plus continu; et si ces raies sont souvent aussi plus nettes, cela tient sans doute à ce que la température a aussi pour effet de rarifier les gaz.

On conçoit que la quantité de force vive à dépenser devenant de plus en plus considérable, elle devra s'épuiser par l'augmentation dé l'amplitude des vibrations et aussi par un plus grand nombre de vibrations.

Nous avons divisé nos radiations en 3 groupes : calorifique, lumineux et chimique.

Il faudrait étudier les causes qui font varier dans ces trois groupes, la proportion et l'intensité de chacune d'elles.

Il faudrait aussi rechercher la quantité totale de forces vives émises, ou ce qui revient au même, la chaleur, puisque l'on peut toujours transformer facilement des radiations rapides en radiations plus lentes.

Enfin ces ondulations au lieu de s'effectuer dans tous les sens comme dans la lumière ordinaire peuvent vibrer plus spécialement dans un plan donné autrement dit, être plus ou moins polarisées.

Toutes ces recherches sont d'un haut intérêt. Si nous connaissions exactement quelles sont les relations qui relient l'effet à la cause, par exemple, comment le spectre donné d'un gaz se modifie sous l'influence de la pression et de la température, nous pourrions, par l'étude spectrale des astres, con-

naître non seulement sa constitution chimique, mais encore la densité et la température des gaz qui émettent ces vibrations. On voit quelle est l'importance de l'analyse spectrale, qui nous permet de connaître les constitutions physiques et chimiques de ces corps célestes, malgré l'immensité qui nous en sépare. Enfin plus récemment William Allen Miller, Hugins et Maxwell, ont montré comment à l'aide du spectroscope on pourrait mesurer la vitesse relative avec laquelle une étoile se rapproche de la terre ou s'en éloigne.

Causes qui font varier le pouvoir éclairant de la flamme.

Nous venons d'esquisser l'histoire d'une flamme proprement dite, d'une flamme essentiellement gazeuse.

Mais en réalité elle est souvent plus complexe. — Elle peut contenir en suspension des particules solides incandescentes ou bien encore contenir de ces vapeurs très denses qui sont des intermédiaires entre l'état liquide et l'état gazeux.

Nous devons donc étendre notre définition et dire :

La flamme est une matière gazeuse incandescente dont la chaleur et la lumière proviennent de la combinaison des éléments qui la constituent, et qui peut contenir à l'état de suspension des particules solides incandescentes ou des vapeurs très denses, qui augmentent considérablement son éclat.

Jusqu'en Mars 1867 la théorie de Davy sur les causes de la lumière dans la flamme avait été admise sans conteste :

« Toutes nos lumières artificielles proviennent de l'incandescence d'une matière solide au milieu de la chaleur intense développée par les changements chimiques qui accompagent la combustion. (W. A. Miller.)

« Quand les hydre-carbures sont imparfaitement brûlés, le carbone se dépose, et ce dépôt temporaire du carbone est une condition essentielle pour la production de la lumière blanche requise dans une flamme ordinaire. » (Williamson.)

« Le pouvoir éclairant de la flamme du gaz est par conséquent dû à ces particules de carbone qui se brûlent ensuite sur les bords de la flamme. » (Balfour Stewart.)

« L'éclat ou le pouvoir lumineux d'une flamme dépend non seulement du degré de chaleur, mais aussi de la présence ou de l'absence de particules solides, qui puissent servir de points rayonnants. Une flamme ne contenant pas de semblables particules n'émet que fort peu de lumière, lors même que la température est très élevée. (Watts.)

« La lumière n'est intense qu'autant qu'elle est en contact avec une matière solide et fixe. (Davy.)

Pour démontrer que la flamme doit son éclat aux particules solides en suspension Davy faisait voir que l'air peut être porté à la chaleur blanche sans être lumineux ou bien encore il mettait la pointe d'un fil de platine à l'extremité do la flamme d'une lampe à alcool. En cachant cette flamme par un écran, on voit que l'effet do la chaleur de l'extremité do la flamme qui n'est pas lumineuse, porte le fil de platine au blanc...

« Que l'on brûle du soufre, du gaz à hydrogène de l'oxyde carbone etc. dans l'air ou dans l'oxygène et l'on n'obtiendra qu'une faible lumière, mais si l'on place de l'oxyde de zinc, de l'amianthe ou un gaz métallique, au milieu de leur flamme celle-ci prendra tout de suite beaucoup d'eclat. » (Davy.) (1)

On sait en effet : 1.° que la lumière blanche est constituée par une infinité de radiation de différentes couleurs, uniformement étalées dans le spectre. 2.° Que les corps solides ou liquides incandescents émettent uniformement toutes ces radiations; que leur spectre est continu.

Il en résulte évidement, que les particules solides incandescentes tenues en suspension dans une masse gazeuse, donneront un spectre continu, et que dès lors la flamme deviendra blanche.

Mais l'étude du spectre gazeux, et en particulier les belles expériences de Frankland nous ont appris en outre, que les vapeurs très denses avaient la même propiété que les solides et les liquides ; qu'elles étaient susceptibles d'emettre un spectre continu.

Frankland ayant remarqué le peu d'éclat d'une bougie qui brûlait au sommet du Mont Blanc, fut amené à examiner qu'elle pouvait être l'influence de la pression sur son pouvoir éclairant.

Il découvrit alors que la pression lui donnait un vif éclat.

(1) Ann. chim. et phys. t. III, p. 132.

Il fit une série d'éxpériences tendant à prouver, 1.° Que les particules solides n'étaient pas nécessaires pour que la flamme soit éclairante. — 2.° Que la température à laquelle était portée la flamme, n'avait qu'une importance secondaire, par rapport à la densité du gaz.

La flamme de l'hydrogène brûlant dans l'air est d'une pâleur remarquable, elle a pourtant une température considérable, 1400° centg. environ. Si on fait arriver dans son intérieur un jet d'oxygène on obtient la température de 2800°, environ (Bunsen) (1) cependant notre flamme oxyhydrique acquiert bien peu d'éclat.

Presquo toutes les vibrations qu'émet cette flamme sont lentes ou calorifiques et dès lors n'impressionnent pas notre rétine mais en augmentant la pression, les gaz changent de propriétés physiques comme nous l'avons vu, le spectre devient continu, la lumière devient blanche.

Des bulles de savons gouflées par un mélange d'un volume d'oxygène et de deux volumes d'hydrogène s'enflamment en donnant une forte explosion mais peu de lumière. La chaleur produite par la combinaison du gaz a pour effet de dilater les gaz de manière á leur faire occuper un volume dix fois plus considérable qu'avant. Puis la. condensation de la vapeur produite par l'abaissement de température, fait qu'ils occupent un volume moindre qu'avant. Alors une forte ondulation sonore se produit et transforme ainsi la chalour en son.

Joule et Mayer ont calculé la quantité de chaleur nécessaire pour un pareil travail. Ils ont trouvé une quantité de chaleur capable de porter deux tiers d'un pouce cube de vapeur à 2121° Fahr. Si nous nous opposons à cette expansion et si nous faisons partir une étincelle électrique dans ce mélange oxyhydrique enfermé dans un eudiomètre de Cavendisch. Aucun bruit ne se produit, mais la température produite devient 7 à 8 fois plus considérable ; en même temps on observera une vive lumière blanche.

Il est évident que le bruit ne pouvait se produire puisque nous nous sommes opposés à l'expansion et à la condensation du gaz. Mais deux questions se posent naturellement : 1.° D'où provient cette augmentation de chaleur ; 2.° Quelle est la cause de cette lumière blanche ?

Les travaux de Déville sur la dissociation du gaz nous permettront d'in-

(1) Bunsen. — Ann. Poggendorff. t. CXXXI, p. 161.

diquer la solution de la première question et la seconde ne sera qu'une conséquence de notre étude du spectre gazeux.

1.° En effet, à la température de 2800° ou sont les gaz oxyhydriques au moment où ils se combinent la quantité de gaz qui se combine réellement n'est que de 0,50, ou la moitié, d'après la formule de dissociation de Deville :

$$\frac{637+(2,800-100)\ 0,475}{3,833}=0,5$$

Dans laquelle :

637 est la quantité de chaleur nécessaire pour transformer l'eau en vapeur à 100°.

2,800°-100° est la température à laquelle sont portées les vapeurs.

0,475 et le coefficient de tension de dissociation (1).

3,833 est la quantité de calories que produisent en se combinant l'oxygène et lh'ydrogène d'un gramme d'eau.

Peslin prouve mathématiquement que cette comparaison est pleine de justesse (2).

On voit que la pression augmentant la température de la flamme augmentera aussi, puisque d'après la formule précedente, la quantité d'oxygène et d'hydrogène combiné, va en augmentant. D'après cela on pourrait comme le fait remarquer Deville, avoir une température de 6800° qui correspondrait à la combinaison totale de l'oxygène et de l'hydrogène, il suffirait d'augmenter suffisamment la pression : (mais on ne peut faire aucune hypothèse sérieuse à cet égard, car on ne peut savoir si á cette température la loi des tensions de dissociation est encore exacte) (3).

La cause de la lumière blanche est plus complexe, parce que la blancheur de la lumière n'est que l'impression produite sur notre vue par une certaine somme de radiations différentes dans leurs natures et dans leurs rapports.

On voit d'abord que l'impression perçue peut varier avec les individus c'est ainsi que quelques personnes voient des radiations obscures ultra-rouges, d'autres n'en voient pas il en est de même aussi pour les radiations ultra-violettes.

(1) Deville considère que la dissociation suit les mêmes lois que la tension des vapeurs. Bulletin de la Société Chimique 1864 et 1865. Hachette, 1866, p. 200.

(2) Ann. chim. et phys., t. XXIV, p. 208.

(3) Deville, comptes rendus, 30 nov. 69.

Nous n'insisterons pas d'avantage sur cette question mais on voit que la différence de jugement provenant de la sensibilité propre de notre rétine et son étendue, peut être très grande. Cependant, si les radiations ultra-rouges et ultra-violottes, n'ont aucune influence sur notre œil, nous sommes nécessairement portés à penser que parmi les ondulations lumineuses même, à égalité d'intensité, les unes impressionnent plus notre rétine que les autres.

Si nous ajoutons que ce qui influe surtout, c'est le rapport d'intensité de chaque radiation, rapport qui varie du tout au tout pour les flammes proprement dites, nous voyons combien sont nombreux et difficiles a définir nettement, les élements qui donnent à la flamme sa blancheur. Les causes de l'éclat d'une flamme ne sont pas moins difficiles à définir.

Toutes celles que nous venons d'invoquer doivent encore l'être. Mais à ces notions il faut en ajouter une autre qui est capitale. C'est celle de l'intensité. Plus les ondulations susceptibles d'impressionner notre rétine seront amples, plus nous les ressentirons vivement.

Si nous faisons abstraction des différences de sensibilité individuelle nous pourrons nous résumer en disant.

L'Eclat d'une lumière dépend :

1.° De la nature même du gaz, c'est-à-diro du spectre qu'il est susceptible d'émettre, de la position de ses raies et de leurs qualités, intensité, étendue, etc.

2.° De la manière dont l'ébranlemont lui sera communiqué.

3.° De la quantité de forces vives communiquées au gaz ou susceptibles de lui être comuniquées.

4.° De sa densité.

5.° Des particules solides qui peuvent être en suspension.

Quelques exemples vont servir à montrer l'importance des deux derniers principes.

L'arsenic en brûlant dans l'oxygène produit une lumière blanche intense.

Jusqu'à Frankland on disait que cet éclat étant dû à l'incandescence des particules solides d'arsenic et d'acide arsenieux. — Mais cette opinion ne peut être soutenue si on réfléchit que l'arsenic se volatilise à 180° centig., l'acide arsenieux à 218° cent. et que les corps solides ne commencent à émettre dos radiations lumineuses qu'au delà de 525°.

Si nous considérons la densité de vapeur de l'arsenic et de l'acide arse-

nieux nous les trouvons considérablos, la densité de la vapeur de l'hydrogéne étant un, celle de l'eau est 9, eolle de l'arsenie 150, et cello de l'acide arsenioux 198.

En sorte qu'à même température, si l'éclairement était proportionol à la densité, l'hydrogèno en so combinant avec l'oxygène devrait donner une flamme environ 20 à 30 fois moins éclatanto que celle de l'arsenie.

Mais nous pouvons diminuer la densité de ces vapeurs en raréfiant son atmosphère. Et l'expérience prouve alors que son pouvoir éclairant diminue avee la pression.

« Jo fais d'abord brûler do l'arsenie à la pression ordinaire disait Frankland, dans uno conférence faite à l'institution royale de la Grande Brotagne en Mars 1867. — Puis je reduis graduellemont la pression au moyen d'une machine pneumatique jusqu'à ee qu'elle soit devenuo moitié moindre que la pression extérieure; Si nous réduisons encore la pression et que nous l'abaissions à un quart d'atmosphère, vous voyez que le pouvoir lumineux de la flamme se trouve considérablement réduit. »

Pour réaliser cette frappante expérienee, on fait brûler l'arsenic dans un tube à reservoir relié à un ballon eylindrique, d'où la vapeur produite ést enlevée au moyen de la machine pneumatique.

Le courant d'oxygène est réglé par un robinet, de façon quo la flamme de l'arsonic conserve lo même volume pendant toute la durée de l'expérience. Ainsi tandis que nous avions une flamme très brillanto quand l'arsenie brûlait dans l'oxygène à la pression ordinaire, nous avons par degré réduit eo pouvoir lumineux à son état de faiblesse actuelle, en raréfiant l'oxygène et en dilatant ainsi les vapeurs de l'arsenic et de l'acide arsenieux.

Toutefois nous remarquerons que dans cette expérience la température s'abaisse considerablément en même temps que la pression diminue, et que dès lors l'expérience n'est pas aussi probante qu'il le parait.

Il fait aussi aussi les expériences suivantes :

Il observe la flamme du bisulfure de earbone brûlant à l'air libre. — La flamme bleuo est comparable à celle de l'oxydo de carbone. Si on introduit dans la flamme un morceau de porcelaine, pas une parcelle de charbon ne se dépose; mais en l'examinant bien on aperçoit un léger dépôt de soufre.

Le soufre so volatilise à 400° on no peut donc admettre dans cette flamme la présence de particules solides.

Mais si nous brûlons ce bisulfure de carbone dans l'oxygène la température s'élèvera considérablement et il est bien évident qu'aucunes particules solides ne pourront résister à cette chaleur intense et à l'oxydation.

Et pourtant l'expérience démontre que cette flamme prend une grande intensité lumineuse.

Si nous varions cette expérience en prenant pour comburant au lieu d'oxygène du bioxydo d'azote, nous obtiendrons une lumière autrement brillante, la plus brillante que l'on puisse obtenir avec les flammes et qui peut être comparée à la lumière électrique ou à celle du magnésium. On pourrait l'employer pour faire des photographies à l'intérieur des mines, car elle contient une grande quantité de rayons chimiques. Cette flamme est pourtaut essentiellement gazeuse. Elle ne contient certainement aucune particules solides dans son intérieur, puisquo les produits de la combustion ainsi que les corps brûlés sont tous gazeux, et cependant elle est tellement lumineuse qu'elle en est aveuglante. Si nous recherchions la causo de ce fait remarquablo, nous la trouverions dans l'étude des spectres, du soufre, de l'azote, de l'oxygène et du carbone. — Tous ces spectres réunis donnent à peu près celui de la lumière blanche; d'un autre côté la densité de ces gaz est assez considérable; ce qui rend ce spectre composé, continu.

Variant ses expériences Frankland augmenta graduellement la pression et observa le pouvoir lumineux de la flamme.

Avec une lampe à alcool, on trouve que l'intensité lumineuse croît avec la pression. — Dans une autre expérience, il fait passer une étincelle électrique dans un mélange oxyhydrique à la pression ordinaire. — Les gaz ne pouvant se dilater, leur densité devient dix fois ce qu'elle serait si l'expérience se faisait à l'air libre. Aussi la lumière produite, est-elle éblouissante. Il introduit alors, ce même mélange dans l'endiomètre, mais à un dizième d'atmosphère seulement. L'explosion produit une température plus basse que précédemment, mais plus élevée que celle de l'hydrogène brûlant à l'air libre. Le mélange atteint seulement la pression atmosphérique au moment de l'explosion : aussi la diminution de la lumière est telle, qu'elle est comparable à celle de l'hydrogène brûlant à l'air libre.

Dans toutes ces expériences, la température a bien une influence consi-

dérable sur le caractère et l'intensité de la lumière produite, mais elle n'a pas celle qu'on est tenté de lui accorder avec Davy.

Considérons le cas du soufre brûlant successivement dans l'air et dans l'oxygène. Dans l'oxygène l'éclat de la lumière est de 20 à 50 fois plus intense que dans l'air.

Dans aucun cas on ne peut dire qu'il y ait des particules solides en suspension, surtout avec l'oxygène pur. L'augmentation d'éclat est simplement dû à ce que le soufre brûle en produisant une quantité de chaleur bien plus grande, parceque la combustion est plus active. Dans l'air atmosphérique une partie du calorique est perdue à échauffer l'azote, qui d'ailleurs venant se mélanger à l'oxygène, agit comme un corps étranger, dilue l'oxygène et par suite diminue l'intensité de la réaction chimique.

M. Sainte-Claire Deville, il est vrai, termine ses conclusions en disant (1): « Les particules d'un gaz inerte, comme l'azote mélangé avec l'hydrogène et l'oxygène, s'illuminant elles-mêmes, sous l'influence de la chaleur dégagée par la combustion, peuvent augmenter le pouvoir éclairant d'une flamme. »

Nous pensons, il est vrai, avec l'éminent professeur, que les particules d'un gaz comme l'azote, émettent des radiations que n'émet pas l'oxygène et le soufre par exemple, et que dès lors sa présence, venant compliqué le système des raies, vient aussi lui donner plus de continuité.

La flamme tend donc à devenir plus éclairante et plus blanche, mais aussi à cause même de l'abaissement de la température, nous croyons, et l'expérience le prouve, que la présence de l'azote tend à en diminuer l'éclat.

Je citerai encore l'exemple de la combustion du phosphore dans l'air et dans l'oxygène pur.

Dans l'air le phosphore brûle avec une lumière très-éclairante. Mais dans l'oxygène la lumière devient éblouissante tout simplement parceque la combustion est plus vive, et qu'une certaine quantité de force vive n'est pas absorbée inutilement pour dilater l'azote.

On admet dans tous les ouvrages classiques que le remarquable pouvoir lumineux de cette flamme est dû à des particules d'acide phosphorique

(1) Sainte-Claire Deville, revue des Cours scientifiques, p. 235.

tenues en suspension. — Cependant l'acide phosphorique est volatil au-dessus de la chaleur blanche. En sorte que cette flamme ne peut contenir de particules solides. C'est la vapeur de l'acide phosphorique qui produit cette lumière blanche si intense.

Davy lui-même l'avait entrevu et il essait d'expliquer ce phénomène anormal en disant: «Depuis que ce mémoire est écrit, j'ai trouvé que l'acide phosphorique se volatise lentement à une forte chaleur rouge ; mais quand il est soumis à une pression modérée, on peut le porter à la chaleur blanche. Dans une flamme aussi intense que celle du phosphore, la force élastique doit produire un effet de compression (1).

Pour comprendre que la température n'a une influence que secondaire sur l'éclairement des flammes, il suffit de se rappeler que l'hydrogène brûle dans l'oxygène à une température très-élevée, en donnant une flamme pâle. L'hydrogène brûlant dans l'oxygène pur donne une température deux fois plus élevée que dans l'air libre ; et cependant cette énorme augmentation de température augmente à peine son pouvoir éclairant.

Mais il suffit de comprimer les gaz qui constituent les flammes d'oxygène et d'hydrogène, d'oxyde do carbone et d'hydrogène, de chlore et d'hydrogène, pour que l'éclat lumineux s'accroisse graduellement.

L'influence de la densité des vapeurs est montrée encore plus éloquemment par les chiffres que Frankland a trouvé en observant le pouvoir éclairant d'un bec de gaz sous divers pressions.

Pression de l'air exprimées en peuces de mercure.	pouvoir éclairant observé.
30,2	100,2
28,2	91,4
26,4	80,6
24,2	73,0
22,2	61,4
20,2	47,8
18,2	37,4
16,2	29,4
14,2	19,8
12,2	14,5
10,2	3,6

Si on trace une courbe en prenant comme coordonnées la pression et le

(1) Œuvres de Davy, v. VI. p. 48.

pouvoir éclairant, on trouve qu'elle se rapproche extrêmement d'une ligne droite. Or, dans ce cas le pouvoir éclairant serait rigoureusement proportionnel à la pression.

Il est donc évident que les gaz et les vapeurs enflammées, peuvent donner une lumière blanche, comme les solides incandescents, pourvu que leurs densités soient suffisantes.

Le gaz à éclairage est un mélange de différents carbures. Or, les expériences de Berthelot, nous ont appris avec quelle facilité, les carbures se transformaient et se dédoublaient à une température élevée.

Les carbures d'hydrogène les plus hydrogénés sont brûlés les premiers et servent de source de forces vives. Tandis que les autres plus carburés et dès lors plus denses, résistent les derniers à l'oxydation, et ce sont eux qui entrant en vibration, servent d'intermédiaires pour mettre en mouvement l'éther qui les entoure. Elles vibrent suivant leur nature propre, et comme ces vapeurs sont voisines de l'état liquide, elles émettent des vibrations rapides et nombreuses. Elles ont un spectre brillant et continu.

Tel est la cause de l'éclairement des flammes des gaz carbonés.

Nous n'affirmons pas cependant qu'il n'existe aucune particule solide en suspension dans la flamme d'une bougie, ou même d'un bec de gaz ; mais nous pensons que les expériences qui consistent à refroidir brusquement une flamme à l'aide d'un morceau de porcelaine ou d'une toile métallique, ne peuvent suffire pour l'affirmer.

Ce sont là des phénomènes de dissociation, et ils ne nous permettent pas de recueillir du carbone pur. Le noir de fumée qui se dépose peut aussi bien être considéré comme un goudron très-riche en carbone, que comme du carbone. Si l'on veut en effet le convertir en carbone pur, il faut le calciné fortement.

Ce traitement ne suffit même pas pour lui enlever tous les hydrocarbures qu'il contient ; il faut encore le soumettre à un courant de chlore.

CONCLUSION :

En résumé l'expérience démontre :

1.° Qu'avec les corps solides, liquides, ou gazeux la lumière devient de plus en plus blanche ou complexe, à mesure que la température s'accroit.

2.° Les radiations émises deviennent plus en plus nombreuses et surtout rapides à mesure que la densité s'accroit.

Cette dernière loi domine par son importance l'étude du pouvoir éclairant des flammes.

Bon à imprimer,
Le Directeur,
BUSSY.

Vu et permis d'imprimer,
Le Vice-Recteur de l'Académie de Paris,
A. MOURIER.

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE

ANGSTROM. Poggendorffs annalen. T. CXXII, p. 489.
Comptes rendus du 7 août 1871.

ATTFIELD. Pilosophie trans. 1862, p. 221.

BERNARD. Comptes rendus à l'Académie. 20 juin 1864.

BERTHELOT et RICHARD. Comptes rendus. T. 68, p. 1547.
(Sur les spectres de quelques corps composés dans le système gazeux en équilibre).

BILLET. Traité d'optique physique. Paris, 1859.

CAILLETET. Comptes rendus. T. LXXIV, p. 1283.
(De l'influence de la pression sur les raies du spectre)

DAGUIN. Traité de physique.

DAVY. Annales de chimie et physique. T. I, III et IV.

DELARIVE. Archives de Genève. T. XXVII. p. 299 et 296.
T. XXVI, p. 177.
(Etincelle électrique á travers des gaz).

DELARIVE et SARAZIN. Société de Genève. T. XXVII, p. 289 et 296.
T. XXVI, p. 177.

DEVILLE (H. Sainte-Claire). Revue des cours scientifiques. T. VI, p. 232.
Et Leçons professées à la Société chimique, p. 290.
Sur la dissociation. Paris, Hachette, 1866.
(Action du magnétisme sur les gaz traversé par des décharges électriques).

DESAIN. Leçon de physique.

DITSCHEINER. Fortschritte der Physisk, p. 224 (1865).

FAYE. Comptes rendus. 1865.

FIZEAU. Annales de chimie et de physique. T. LXV, p. 429.
(Interférence avec différence de marche).

FRANCKLAND et NORMAND LOCKYER. Comptes rendus. T. LXIX, p. 265.
T. LXVIII, p. 420 et 1519.

HERSCHELLS. Société royale de Londres. T. XVII, p. 507.

HITTORFF. Transaction philosophique, 1864.
(Spectre de l'azote, du soufre et du carbone).

HUGGINS. Philosoph. transaction. 1864, p. 444.
1808, p. 544.

JAMIN. Cours de physique à l'Ecole polytechnique.

JANSEN. Comptes rendus. 13 août 1868.
13 juillet 1863.
27 juillet 1863.
25 juillet 1864.
30 janvier 1865.
Annales de physique et de chimie. T. XXIV, p. 215.
(Spectre de la vapeur d'eau).
Et T. XXIII, pl. 1. (Etude des raies telluriques du spectre).

KIRCHHOFF. Mémoire à l'Académie de Berlin. 1861.
(Sur le spectre solaire).

LOCKYER. Comptes rendus. 27 juin 1870.
26 octobre 1868.
Société royale de Londres. T. XVII, p. 91, 353, 454.
T. XVIII, p. 76.

MAGNUS. (Berlin, 1861).
(Transmission de la chaleur à travers différents gaz).

MASCART. Annales scientifiques de l'Ecole normale. T. I, 1864.
(Longueur d'onde). T. IV, 1867.
Annales de physique et de chimie. T. XXIII, p. 116.
(Théorie de quelques phénomènes d'interférences),

MORREN. Annales de physique et de chimie. 4e série. T. IV, p. 301, 308. (1865).

PESLIN. T. XXIV, p. 208.
Sur les lois de la tension de dissociation des composés chimiques.

POUILLET. Traité de physique.

PLUCKER et HITTORF. Phil. trans. 1865.
(Figure du spectre de l'acétylène, p. 19 et 27).

RAYET. Comptes rendus. T. LXX, p. 1336.
T. LXXI, p. 301.
T. LXXIII, p. 320.
(Mémoire sur les raies brillantes du spectre de l'atmosphère solaire et la constitution physique du soleil).

SALET. Comptes rendus. T. LXXIV, p. 1249.

STONEY. Société royale de Londres. Juin 1867.

SECCHI. Comptes rendus. T. LXVII, p. 1123.
T. LXVIII, p. 1243.
Et l'Unité des forces physiques.

SORET. Archives de Genève. T. XLII, p. 82 et 84.

STÉFAN. Poggendorffs annalen. T. CXXII, p. 631. (1864).

SWAN. Edimbourg. Philosophical transaction. T. XXI, p. 411. (1856).

RICHE. Chimie médicale. (Appendice).

TYNDALL. (Londres). 1861.
Transmission de la chaleur à travers différents gaz.
Archives de Genève. T. XXXVIII, p 196.
(Expériences sur la polarisation de la chaleur).
Philosophical magazin. T. XXXIX. p. 260, 282.

VERDET. (Œuvres complètes). Paris, 1868.

VAN DER WILLIGEN. Archives du musée de Teyler (Harlem). Vol. I.

VULLNER. Ann. Poggendorff. T. CXLIV, p. 481, 52.
(Sur les spectres des gaz carbonés, mémoire présenté à la Société d'Aix-la-Chapelle en juillet 1871).
Annales de chimie et de physique. T. XVI, p. 495, et t. XVIII, p. 483.
(Spectre continu sous l'influence de la pression).

WURTZ. Dictionnaire de chimie.



24, Typographie FLOREZ, rue des Fossés Saint-Jacques, 24.